

1 **VARIABILIDAD DEL CAUDAL DEL RÍO NEUQUÉN EN LAS FASES DE SU**
2 **CICLO ANUAL Y SU RELACIÓN CON ÍNDICES CLIMÁTICOS**

3
4 **Lorenzo Ricetti^{1,2,*}, Santiago I. Hurtado³, Eduardo Agosta Scarel⁴, Andrés Cesanelli¹**

5
6 **¹Facultad de Ciencias Astronomicas y Geofisicas, Universidad Nacional de La Plata**
7 **(FCAG, UNLP)**

8 **²Consejo Nacional de Investigaciones Cientificas y Tecnicas (CONICET)**

9 **³Instituto de Investigaciones Forestales y Agropecuarias Bariloche (IFAB), INTA-**
10 **CONICET**

11 **⁴Equipo Interdisciplinario para el Estudio de Procesos Atmosféricos en el Cambio**
12 **Global, Pontificia Universidad Católica de Buenos Aires, CONICET-UCA.**

13
14 ***Autor correspondiente: Lorenzo Ricetti, lricetti@fcaglp.unlp.edu.ar**

15
16 Manuscrito recibido el 16 de febrero de 2023, en su versión final el 24 de mayo de 2023

17
18 **RESUMEN**

19 El río Neuquén reviste una gran importancia para la región de Patagonia Norte. Por esto, el
20 presente trabajo plantea el estudio de la variabilidad de su caudal a partir de datos observados,
21 en un contexto de emergencia hídrica en la cuenca. Primero, se realizó una evaluación de
22 algunos métodos de rellenado de datos de caudal diario, el cual arrojó que la regresión lineal
23 múltiple es la más adecuada para la cuenca. Luego se identificaron las fases del ciclo anual, a
24 partir de la propuesta de una metodología objetiva. Esta identificó las fechas de inicio y final
25 de tres fases del ciclo anual, en concordancia con el ciclo pluvio-nival del curso. Así, se
26 identificó una fase de mínimo caudal entre principios del año calendario y fines de mayo, una
27 fase de máximo relativo que se extiende hasta mediados de septiembre y una fase de máximo
28 absoluto que tiene lugar hasta principios del año siguiente. Posteriormente, se estudiaron series
29 de caudal representativas de cada fase. La totalidad de las series estudiadas mostraron un
30 quiebre o salto abrupto entre el 2007 y el 2010 hacia menores valores, el cual induce tendencias
31 negativas y significativas pero espurias. Durante el periodo homogéneo previo al quiebre, la
32 variabilidad de las series mostró ser distinta entre las fases. Respecto a los potenciales
33 forzantes, el caudal de la fase mínima mostró una relación inversa con el índice del Modo
34 Anular del Sur (MAS) y directa con el índice TNA, representativo de la variabilidad de la
35 temperatura superficial del mar (TSM) del Atlántico tropical norte. El caudal de la fase de

36 máximo relativo exhibió una relación directa con los índices del Niño Oscilación del Sur
37 (ENOS) e inversa con el índice TSA, de la TSM del sur del Atlántico tropical. Por último, se
38 encontraron relaciones directas entre el caudal de la fase de máximo absoluto y los índices del
39 ENOS y del Dipolo del Océano Índico e inversas con los índices del MAS y TNA. Estos
40 resultados aportan información sobre el cambio del régimen hidrológico del río y su
41 variabilidad, relevante en la gestión de un recurso estratégico.

42

43 **Palabras clave:** Patagonia norte, El Niño Oscilación del Sur, Modo Anular del Sur, Dipolo del
44 Océano Índico, Océano Atlántico.

45

46 **STREAMFLOW VARIABILITY OF THE NEUQUEN RIVER ON THE PHASES OF**
47 **ITS ANNUAL CYCLE AND IT RELATIONSHIP WITH CLIMATE INDICES**

48

49

ABSTRACT

50 The Neuquén river has great relevance for the northern Patagonian region. For this reason, this
51 work aims to study its streamflow variability based on observational data in the context of
52 hydrological emergency in the basin. Firstly, a study of daily streamflow infilling methods was
53 performed, from which the multiple linear regression stood out as the most appropriate for the
54 basin. Then, the phases of the annual cycle were determined with an objective methodology.
55 The methodology was able to determine the beginning and ending dates in each of the three
56 identified phases, in concordance with the river's pluvio-nival cycle. Accordingly, there is a
57 minimum streamflow phase, which takes place from the beginning of the year until May, a
58 relative maximum phase which extends from May through mid-September, when the absolute
59 maximum phase begins until the next minimum phase. Subsequently, streamflow series
60 representative of each phase were examined. All the estimated series showed a breakpoint or
61 step change towards lower streamflow between 2007 and 2010, which induces negative and
62 significant trends, yet spurious. Throughout the homogeneous period before the breakpoint, the
63 series of the different phases showed distinct variability. Regarding the potential forcings, the
64 streamflow of the minimum phase showed an inverse relationship with the Southern Annular
65 Mode (SAM) index and a direct association with the TNA index, which represents the sea
66 surface temperature (SST) variability of the tropical North Atlantic Ocean. The streamflow of
67 the relative maximum phase exhibited a direct relationship with El Niño Southern Oscillation
68 (ENSO) indices and an inverse association with the TSA index of the tropical south Atlantic
69 SST. Lastly, the streamflow of the absolute maximum phase showed a direct relationship with

70 the ENSO and Indian Ocean Dipole indices and an inverse connection with the SAM and TNA
71 indices. These results provide useful insights about the changes in the hydrological regime of
72 the river and its variability, which is relevant in the management of the resource.

73

74 **Key words:** Northern Patagonia, El Niño Southern Oscillation, Southern Annular Mode,
75 Indian Ocean Dipole, Atlantic Ocean.

76

77 1. INTRODUCCIÓN

78 La cuenca del río Neuquén (CRN) es una cuenca de carácter exorreico situada en el oeste de la
79 Patagonia norte (Figura 1). La misma nace en el faldeo oriental de la cordillera de Los Andes,
80 entre los 36° y 39,5° de latitud sur, drenando una superficie de unos 30000 Km²
81 (<http://www.aic.gob.ar/sitio/lacuena>, accedido el 15/02/2023). En su extremo norte limita con
82 la cuenca del río Colorado y en el sur con la cuenca del río Limay. Este último confluye con el
83 río Neuquén para dar origen al río Negro en el extremo oriental de la CRN. En la sección
84 inferior de la cuenca se encuentra emplazado el complejo hidroeléctrico Cerros Colorados,
85 cuyas funciones son el control de crecidas (a partir de los reservorios Los Barreales y Mari
86 Menuco), el abastecimiento de agua para el consumo humano y el riego, la protección de costas
87 y la generación hidroeléctrica a cargo de cinco presas con una potencia instalada de 480 MW
88 (Organismo Regulador de Seguridad de Presas; ORSEP, 2020). Esta última resulta de gran
89 importancia para la matriz energética nacional, dado que en el Comahue (región ubicada en el
90 norte de la Patagonia argentina) se produce el 41% de la energía hidroeléctrica del país, la cual
91 representó el 33% del total de energía producida en el país al año 2017
92 ([https://www.argentina.gob.ar/economia/energia/energia-electrica/hidroelectrica/estadisticas-](https://www.argentina.gob.ar/economia/energia/energia-electrica/hidroelectrica/estadisticas-de-hidroelectricidad-en-argentina)
93 [de-hidroelectricidad-en-argentina](https://www.argentina.gob.ar/economia/energia/energia-electrica/hidroelectrica/estadisticas-de-hidroelectricidad-en-argentina), accedido el 19/04/2023). A nivel regional, la principal
94 actividad productiva es la explotación de hidrocarburos, seguida del turismo y de la fruticultura
95 (<https://w2.neuquen.gov.ar/economia-y-recursos>, accedido el 19/04/2023).

96

97 La CRN posee corrientes de agua permanentes de escurrimiento superficial dendrítico, siendo
98 algunas pocas efímeras, reactivadas durante la época de deshielo (Finessi & Groch, 2018). El
99 año hidrológico en los cursos de la CRN inicia en el mes de marzo (Romero & González, 2016),
100 presentando una doble onda de crecida a la que se le asocia un régimen pluvio-nival. El primer
101 máximo ocurre en los meses de junio y julio, acompañando el pico anual de las precipitaciones
102 en la región (González & Vera, 2010). En tanto que el segundo máximo debe su origen a la

103 alimentación alóctona producto del derretimiento nival y ablación glaciaria que ocurre en las
104 cordilleras circundantes al inicio de la primavera (Vich et al., 2010).

105

106 La variabilidad interanual del caudal en los ríos andinos depende fuertemente de las
107 condiciones atmosféricas (Araneo & Compagnucci, 2008). En tal sentido, numerosa evidencia
108 sustenta que la variabilidad del caudal anual y estacional de los ríos patagónicos se encuentra
109 modulada en escalas interanuales por los forzantes El Niño-Oscilación del sur (ENOS) y el
110 Modo Anular del Sur (MAS) y en escalas interdecadales por la Oscilación Decadal del Pacífico
111 y el MAS (Lauro et al., 2019; Berri et al., 2019; Compagnucci & Araneo, 2007; Rivera et al.,
112 2018; Scarpati et al., 2001; Masiokas et al., 2019). A pesar de existir numerosos trabajos en la
113 región de estudio, ninguno de ellos analiza la variabilidad del caudal del río Neuquén en las
114 distintas fases que componen su característico ciclo pluvio-nival. Tampoco fue explorada la
115 relación de la variable con otros forzantes remotos de la variabilidad climática en Sudamérica,
116 como lo es el Dipolo del Océano Índico (DOI, Chan et al., 2008).

117

118 Las series de caudales anuales, mínimos y de meses estivales presentan tendencias negativas
119 en la región de estudio (Masiokas et al., 2019; Vich et al., 2010; Lauro et al., 2019). Asimismo,
120 Rivera et al. (2018) detectaron tendencias positivas en la frecuencia de ocurrencia de sequías
121 hidrológicas desde mitad de 1970 en la cuenca. En este contexto de reducción en la
122 disponibilidad del recurso hídrico, los estudios bajo distintos escenarios de emisión proyectan
123 un probable aumento en la frecuencia de ocurrencia de sequías en los ríos patagónicos en el
124 futuro cercano (Aguayo et al., 2019) y disminución del caudal medio anual y de la
125 disponibilidad de agua en Comahue hacia fines del siglo XXI (Pessacg et al., 2020; Raggio &
126 Saurral, 2021).

127

128 En el marco de la emergencia hídrica decretada por la Autoridad Interjurisdiccional de las
129 Cuencas de los ríos Limay, Neuquén y Negro (AIC, [http://www.aic.gob.ar/Sitio/novedades-
130 ver?a=730&z=2090819242](http://www.aic.gob.ar/Sitio/novedades-ver?a=730&z=2090819242), accedido el 15/02/2023) generada por la disminución sostenida
131 del caudal en años recientes, impera la necesidad de mejorar la comprensión de la evolución
132 temporal de los caudales en la CRN y su relación con los mecanismos forzantes de su
133 variabilidad, a partir de estudios específicos a nivel de cuenca. Esto permitiría mejorar la
134 planificación y gestión del recurso en las próximas décadas, en una región donde las actividades
135 económicas dependen fuertemente de su disponibilidad. El presente trabajo se propone analizar
136 la variabilidad interanual e interdecadal del caudal de los ríos de la CRN en cada una de las

137 fases de su ciclo anual y su relación con índices climáticos. De este modo, se busca extraer
138 información estadísticamente relevante que permita mejorar la comprensión de la progresión
139 temporal del caudal en la cuenca y de su variabilidad.

140

141 **2. DATOS Y METODOLOGÍA**

142 **2.1. Datos**

143 Para el estudio se utilizaron datos de caudal medio diario extraídos del Sistema Nacional de
144 Información Hídrica (<https://snih.hidricosargentina.gob.ar/>, accedido el 19/10/2022),
145 correspondientes al periodo 1980-2019. Tales registros fueron sometidos a un análisis de
146 consistencia identificando falsos ceros y valores inconsistentes, los cuales fueron considerados
147 como datos faltantes. Para identificar datos inconsistentes se ajustó un modelo Autoregresivo
148 integrado de medias móviles (ARIMA) a cada serie y se consideró sospechoso a cualquier valor
149 por fuera del intervalo arbitrario dado por el doble del desvío estándar de los residuos del
150 modelo. Para determinar si un sospechoso era un valor inconsistente se realizó un análisis
151 visual de la serie centrada en el valor a consistir y se comparó con registros de estaciones
152 cercanas. La Tabla I muestra el nombre, acrónimo, ubicación y porcentaje de datos faltantes de
153 las estaciones empleadas. Se seleccionaron las estaciones ‘Andacollo’ (AND), ‘Bajada del
154 Agrio’ (BDA) y ‘Paso de Indios’ (PDI), que resultaron las únicas con un porcentaje de datos
155 faltantes menor al 10% en el periodo de estudio. Puede observarse en la Figura 1 que AND y
156 BDA son representativas de subcuencas con nacimiento en Los Andes, mientras que PDI lo es
157 de una subcuenca que abarca las dos anteriores. En la Tabla I puede advertirse que la estación
158 AND presenta casi un 6% de datos faltantes, donde más del 4% de los mismos se concentran
159 en un periodo continuo comprendido entre 1° de abril del 2004 y el 1° de enero del 2006,
160 comprometiendo la serie histórica. Dado que el uso de métodos de rellenado de datos
161 inadecuados en series hidrometeorológicas puede comprometer la fiabilidad de los análisis
162 hidrológicos y climatológicos posteriores (Ng et al., 2009; Hurtado et al., 2021) y ante la falta
163 de trabajos que evalúen y comparen el desempeño de distintos métodos de rellenado de datos
164 en la región, se procedió a realizar un análisis comparativo de algunos métodos de rellenado
165 de datos de caudal medio diario, con el fin de determinar el más óptimo para recuperar la serie
166 histórica para su uso climático.

167

168 Para explorar los posibles forzantes del sistema acoplado océano-atmósfera que modulan la
169 variabilidad del caudal del río Neuquén se utilizaron índices climáticos mensuales. Entre ellos
170 se encuentran los índices Niño 1.2, Niño 4 y Niño 3.4 del fenómeno ENOS, los índices TNA

171 ('Tropical North Atlantic') y TSA ('Tropical South Atlantic') del Océano Atlántico tropical
172 norte y sur, respectivamente y el índice DMI ('Dipole mode index') del DOI, extraídos de la
173 página de la 'National Oceanic and Atmospheric Administration' (NOAA,
174 <https://psl.noaa.gov/data/climateindices/list/>, accedido el 19/10/2022). También se usó el
175 índice del MAS basado en observaciones propuesto por Marshall (2003), brindado por el
176 'British Antarctic Survey' (BAS, <https://legacy.bas.ac.uk/met/gjma/sam.html>, accedido el
177 19/10/2022).

178

179 **2.2. Metodología**

180 El procesamiento de datos, análisis estadísticos y visualización fue realizada utilizando el
181 software de código libre 'R' (R Core Team, 2022). En particular, haciendo uso de los paquetes
182 *tidyverse* (Wickham et al., 2019), *lubridate* (Grolemund & Wickham, 2011), *metR* (Campitelli,
183 2018), *BreakPoints* (Hurtado et al., 2020), *trend* (Pohlert et al., 2016) y *forecast* (Hyndman et
184 al., 2020).

185

186 **2.2.1. Rellenado de datos faltantes**

187 Entre los métodos evaluados para rellenar los datos faltantes se incluyen los basados en la
188 autoregresión de la variable (ARIMA), de regresión lineal múltiple (MLR, por sus siglas en
189 inglés) con múltiples variantes en las variables predictoras, y de valores medios (Valor_Medio,
190 Cerrudo et al., 2017). Adicionalmente, se evaluó el relleno de faltantes utilizando datos
191 provistos por el reanálisis hidrológico de alta resolución 'Global Flood Awareness System'
192 (GloFAS, Alfieri et al., 2020) mediante un método de regresión lineal simple (GloFAS_Reg)
193 y utilizando el valor del dato reanalizado en el punto de grilla más cercano (GloFAS_Raw).
194 Los métodos considerados en el análisis se describen en la Tabla II.

195

196 De los modelos evaluados, hay algunos que no son aptos para rellenar períodos continuos de
197 datos faltantes. Los métodos ARIMA y MLR_Ar requieren de la existencia de registros en días
198 previos y el método Valor_Medio requiere el anterior y posterior inmediatos, por lo que sólo
199 son aplicables a datos faltantes aislados. Por tanto, se evaluó el método más adecuado para
200 rellenar faltantes continuos y aislados de forma separada.

201

202 La validación de cada modelo se realizó con la técnica 'Leave one out cross validation'
203 (Sammut & Webb, 2010). Para ello, se utilizaron métricas basadas en el error relativo, con el
204 fin de poder compararlas entre estaciones. En particular, se calculó el error relativo medio

205 (RME, por sus siglas en inglés) y la raíz cuadrada del error cuadrático medio relativo (RRMSE,
206 por sus siglas en inglés), definidos de la siguiente forma:

207

$$208 \quad RME_{i,j} = \frac{\sum_{t=1}^N \left| \frac{Modi,j(t)-Obsi(t)}{Obsi(t)} \right|}{N} * 100 \quad (1)$$

209

$$210 \quad RRMSE_{i,j} = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^N \left[\frac{Modi,j(t)-Obsi(t)}{Obsi(t)} \right]^2}{N}} * 100 \quad (2)$$

211

212

213 donde Mod y Obs representan los valores modelados y observados, respectivamente. El
214 subíndice i representa la estación, j al modelo de rellenado y N representa la cantidad de
215 observaciones. La métrica RME brinda información del sesgo relativo medio y el RRMSE de
216 la magnitud del error relativo medio. Cabe destacar que el RME debe ser evaluado teniendo en
217 consideración que los valores negativos y positivos pueden contrarrestarse entre sí y dar una
218 magnitud más pequeña que el error real. Por su parte, el RRMSE no es una métrica resistente
219 y tiende a poner peso en errores grandes (Li & Heap, 2011).

220

221 Con el fin de determinar si existen diferencias en el desempeño de los métodos entre
222 temporadas de altos y bajos caudales, los errores se calcularon de forma separada para el
223 semestre de bajos caudales (enero a junio) y para el semestre de altos caudales (julio-
224 diciembre), siguiendo la clasificación de temporadas de alto y bajo caudal de Compagnucci &
225 Araneo (2007).

226

227 **2.2.2. Ciclo anual y fases**

228 Para identificar las fases que componen el ciclo anual del caudal se propuso una metodología
229 de detección objetiva de las fases que componen el ciclo anual diario de una variable
230 hidrometeorológica. Para ello, se construyó un ciclo anual característico (Ciclo_med) usando
231 la mediana diaria del caudal (percentil 50 de las distribuciones de caudal de cada día del año).
232 La elección de la mediana en lugar del valor medio se basa en que la distribución del caudal
233 medio diario tiene asimetría positiva, por lo que el valor medio no resulta representativo de la
234 distribución. El ciclo anual suavizado considerado para identificar las fases (Ciclo_arm) se
235 armó con los primeros armónicos obtenidos con la transformada rápida de Fourier sobre

236 Ciclo_med. Se utilizaron los primeros cinco armónicos, siendo este el número mínimo que
237 representó correctamente la forma del ciclo anual según un análisis visual.

238

239 Dado que puede entenderse a una fase como un conjunto de elementos pertenecientes a la
240 misma población estadística, se determinaron las fases aplicando la metodología multi quiebre
241 propuesta por Hurtado et al. (2020) sobre el ciclo anual suavizado Ciclo_arm. Para ello, se
242 utilizaron los test de Pettit, Buishand-R y Standard Normal Homogeneity Test (SNHT), siendo
243 estos los test de mejor desempeño en las simulaciones del mencionado trabajo. Los quiebres se
244 identificaron sobre Ciclo_arm, dado que en él se filtran oscilaciones de alta frecuencia
245 asociadas a procesos aleatorios y variabilidades de escalas que no son de interés en el ciclo
246 anual.

247

248 Como el principal objetivo de este trabajo es el estudio de los forzantes de baja frecuencia que
249 modulan la variabilidad de los caudales en la CRN, para cada fase detectada se acumuló el
250 caudal en trimestres contenidos dentro de la fase. Así, para cada estación de aforo se obtuvieron
251 series interanuales de acumulados trimestrales representativas de cada fase del ciclo anual.

252

253 **2.2.3. Análisis estadístico de las series de caudal**

254 Para analizar cambios en la estacionariedad de las series temporales, se llevó a cabo un análisis
255 de puntos de quiebre sobre las series interanuales de caudal acumulado usando los test
256 mencionados en la subsección anterior. Dada su corta extensión, se evaluó la existencia de un
257 único punto de quiebre con un intervalo de confianza del 90%. Como las metodologías de
258 puntos de quiebre en series cortas tienen un error mayor en la correcta identificación del
259 momento en que ocurre el quiebre (Hurtado et al., 2020), la ubicación exacta del mismo se
260 confirmó visualmente.

261

262 Se evaluó la existencia de tendencias monótonas de las series a partir de las pendientes de la
263 regresión de Theil-Sen (Sen, 1968), debido a su resistencia, del test no paramétrico de Mann
264 Kendall (Hipel & McLeod, 1994) y del test de correlación de Spearman con la recta de
265 regresión (Lauro et al., 2015), utilizando en ambos test un nivel de significancia $\alpha = 0,1$. En
266 caso de obtener tendencias significativamente distintas cero, estas fueron filtradas para
267 asegurar la estacionariedad de la serie.

268

269 Se computó el test de correlación de Pearson entre las series de los distintos aforos para cada
270 fase del ciclo anual, para determinar la coherencia entre las series en cada fase. También se
271 analizó la varianza linealmente compartida entre las series de una misma estación en sus
272 distintas fases usando el mismo test, con el fin de identificar la variabilidad compartida entre
273 las series de las distintas fases en la misma estación de aforo.

274

275 Con el objetivo de determinar las periodicidades dominantes de cada serie, se computó la
276 potencia global de Wavelet de las series de caudal acumulado en cada fase (Labat, 2010). Para
277 ello, se utilizó la transformada de Wavelet usando la ondeleta de Morlet de frecuencia 6
278 (Torrence & Compo, 1998). Los espectros fueron testeados mediante remuestreo de la serie o
279 ‘bootstrapping’ usando 10.000 simulaciones y un nivel de significancia $\alpha = 0,1$. La hipótesis
280 nula establece que la potencia asociada a una dada frecuencia se debe a procesos aleatorios.

281

282 **2.2.4. Análisis de potenciales forzantes**

283 Para evaluar la relación de las series de caudal acumulado con los potenciales forzantes
284 climáticos, se empleó el test de correlación de Pearson entre las series de caudal y los índices
285 climáticos promediados trimestralmente, usando un intervalo de confianza del 90%. Para cada
286 fase del ciclo anual se consideraron series de los índices promediados en el trimestre
287 representativo de cada fase y promedios trimestrales desfasando de a un mes hasta 4 meses
288 previos, para dar cuenta del potencial desfase entre el forzante y la respuesta en el caudal.

289

290 Por otra parte, se calculó la coherencia global de Wavelet (CGW) entre las series de caudal
291 acumulado y los índices climáticos promediados trimestralmente, obtenida a partir del espectro
292 cruzado de Wavelet. Para ello, se suavizaron las series utilizando una ventana de Hamming de
293 5 puntos. La elección de la coherencia por sobre la potencia del espectro cruzado de Wavelet
294 se basa en que la última no resulta adecuada para evaluar la interrelación entre dos procesos
295 (Maraun & Kurths, 2004). La CGW fue testeada bajo la hipótesis nula de que la coherencia
296 entre series asociada a una frecuencia dada es debida al azar. Para simular la distribución nula
297 se realizaron 1.000 remuestreos o ‘bootstrapping’ de las series temporales y se consideró un
298 $\alpha = 0,05$.

299

300 La relación estadística entre las series de caudal acumulado y los índices climáticos se
301 consideró confiable si para ese trimestre se rechazaron las hipótesis nulas del test de correlación
302 y el de coherencia para el intervalo de confianza considerado en cada caso.

303

304 **3. RESULTADOS**305 **3.1. Evaluación de los métodos de relleno**

306 La Figura 2 muestra las métricas de error de cada método evaluado, para las distintas estaciones
307 en la temporada de altos y bajos caudales. Considerando la métrica RRMSE, los métodos
308 capaces de rellenar faltantes aislados (ARIMA, Valor_Medio y MLR_Ar) muestran los
309 menores errores en ambas estaciones y temporadas (del orden del 10%). Respecto a los
310 métodos capaces de rellenar periodos completos sin datos, en ambas estaciones y temporadas,
311 GloFAS_Raw y GloFAS_Reg muestran errores mayores que MLR_Ord y MLR_Ds (Figura 2,
312 paneles inferiores). En particular, los modelos basados en el reanálisis GloFAS muestran
313 valores de RRMSE superiores al 50% en todos los casos. Considerando esta métrica, no existen
314 diferencias sustanciales entre MLR_Ord y MLR_Ds, pero ambas muestran una diferencia
315 marcada entre temporadas. Durante la temporada de alto caudal ambos modelos muestran
316 errores relativos menores (del orden del 40% en AND y 25% en BDA), mientras que en la
317 temporada de bajo caudal los errores presentan valores del 75% en AND y 45% en BDA.

318

319 Examinando la métrica RME, nuevamente los métodos de relleno de faltantes aislados son
320 los que en promedio menor sesgo relativo presentan, resultando en todos los casos positivos y
321 del orden del 5%, lo que evidencia una leve sobreestimación el caudal observado (Figura 2,
322 paneles superiores). Respecto a modelos para faltantes continuos, MLR_Ord y MLR_Ds
323 presentan errores mayores para la temporada de bajo caudal. Ambos métodos muestran valores
324 positivos en todos los casos y del orden del 10% (3%) en AND (BDA) durante la temporada
325 de alto y del 30% (20%) en AND (BDA) en temporada de bajo caudal. El modelo GloFAS_Reg
326 muestra sesgo positivo en todos los casos, aunque una variación grande entre temporadas. Para
327 la temporada de alto se mantiene debajo del 15% en ambas estaciones, mientras que en la de
328 bajo caudal superan el 30%. Por su parte, el modelo GloFAS_Raw exhibe una notable
329 diferencia entre temporadas y estaciones. En la estación AND los errores en ambas temporadas
330 resultan negativos, siendo de -13 % y -2% en temporada de bajos y altos caudales,
331 respectivamente. En BDA los errores en ambas temporadas son del orden del 35%, pero
332 positivos en la temporada de altos caudales y negativos en la de bajos. En este punto cabe
333 señalar la importancia de la separación en temporadas para el análisis realizado. Si se hubiesen
334 considerado métricas promedio de todo el año, los sesgos se hubiesen contrarrestado entre sí,
335 obteniéndose valores cercanos a cero, lo que conduciría a una interpretación errónea del sesgo
336 relativo del modelo.

337

338 En base al análisis, los datos faltantes aislados fueron rellenados con el modelo MLR_Ar,
339 mientras que los faltantes continuos con el modelo MLR_Ds, siendo estos los métodos que
340 menores métricas de error presentaron para cada tipo de datos faltantes. La Figura 3 muestra la
341 serie temporal de la estación AND, con una ampliación en el periodo 2004-2007. El análisis
342 realizado permitió recuperar la serie histórica sin comprometer los análisis estadísticos y
343 climáticos subsecuentes.

344

345 **3.2. Identificación de las fases del ciclo anual**

346 La Figura 4 muestra el ciclo anual característico obtenido a partir de la mediana diaria de caudal
347 (Ciclo_med, línea azul) y el ciclo anual suavizado (Ciclo_arm, línea negra) para las tres
348 estaciones de aforo diario. Además, se sombreó el área comprendida entre el percentil 25 y 75
349 de la distribución diaria de caudal (sombreado rosa) para evaluar la dispersión respecto a
350 ciclo_arm. Las líneas punteadas verticales representan los quiebres identificados por los
351 distintos test y la línea vertical negra marca la fecha promedio de cada quiebre.

352

353 La metodología propuesta identifica claramente tres fases del ciclo anual, en total concordancia
354 con el régimen pluvio-nival del curso. Puede observarse que en general tanto los ciclos anuales
355 como las fechas de inicio de fases son muy próximas entre las estaciones de aforo, por lo que
356 es plausible una generalización. En la Tabla III se muestran las fechas de inicio de cada fase
357 del ciclo anual y su duración de acuerdo con la metodología propuesta. Así, la fase de mínimo
358 caudal inicia entre fines de diciembre y principios de enero y se extiende hasta el inicio de la
359 fase de máximo relativo a fines de mayo, siendo la fase más extensa con una duración promedio
360 de 146 días. La fase de máximo relativo tiene lugar hasta mediados de septiembre, donde inicia
361 la fase de máximo absoluto que tendrá lugar hasta inicios del año siguiente. Las duraciones
362 promedio de estas fases son de 109 y 111 días, respectivamente.

363

364 Dado que el objetivo del presente trabajo consiste en identificar los forzantes que modulan la
365 variabilidad de baja frecuencia de los caudales en las distintas fases que componen el ciclo
366 anual, se estimaron series interanuales de los caudales acumulados en trimestres completos
367 contenidos dentro de cada fase. De esta manera, el caudal acumulado en el trimestre febrero-
368 abril (Fase_min) es representativo de la fase de mínimo caudal de los cursos de agua de la
369 CRN, el de junio-agosto (Fase_int), representativo de la fase de máximo relativo y el del
370 trimestre octubre-diciembre (Fase_max), de la fase de máximo absoluto.

371

372 3.3 Análisis de las series de caudal acumulado en fases**373 3.3.1. Tendencias y quiebres**

374 La Figura 5 muestra las series interanuales de caudal acumulado trimestralmente, estimadas
375 para cada estación y fase del ciclo anual de acuerdo al criterio de la sección anterior. También
376 se muestran en líneas verticales las fechas identificadas por los distintos test de quiebre, junto
377 con la recta de tendencia lineal, antes y después del quiebre.

378

379 La determinación objetiva de puntos de quiebre arrojó, con al menos dos de los tres test
380 empleados, que las series de todas las estaciones y fases del ciclo anual presentan un quiebre
381 entre el 2007 y el 2010. La excepción es la serie de AND en Fase_max, en la cual sólo SNHT
382 identificó un quiebre. De esta forma, las series de Fase_min presentan un quiebre sincrónico
383 en el 2008, las de Fase_int, un quiebre sincrónico en el año 2007 y las series de Fase_max un
384 quiebre en el 2010 en AND y BDA y en el 2007 para PDI.

385

386 Puede advertirse una abrupta disminución de los caudales acumulados en todas las fases del
387 ciclo anual luego del quiebre, indicando un salto del caudal hacia menores valores acumulados.
388 En todas las estaciones de aforo las medias del caudal en las Fase_int y Fase_max mostraron
389 un desplome significativo después del quiebre. Por ejemplo, el valor medio de Fase_int muestra
390 una reducción del 50 % en el caudal de AND y el valor medio de Fase_max un descenso del
391 35 % en el caudal de PDI. Cabe destacar que el valor exacto de la reducción porcentual del
392 valor medio de AND mencionada puede variar ligeramente, debido a que la serie está afectada
393 por el rellenado de los datos faltantes entre abril de 2004 y enero del 2006. A pesar de la gran
394 relevancia que reviste el cambio abrupto en el régimen de caudal identificado, su estudio escapa
395 a los objetivos del presente trabajo, por lo que será estudiado en futuros trabajos.

396

397 Respecto a las tendencias, resultaron mayoritariamente nulas en el período antes del quiebre
398 (AQ) y negativas en el período posterior (DQ), aunque no significativas. La excepción es la
399 serie de AND en Fase_min durante el periodo DQ, donde resulta significativamente distinta de
400 cero con un intervalo de confianza del 90% (ver tabla IV).

401

402 Teniendo en cuenta que la totalidad de las series mostraron un quiebre hacia menores valores
403 entre los años 2007 y 2010 y que el objetivo del trabajo es el estudio de la variabilidad de los
404 caudales acumulados en períodos homogéneos, en adelante se estudiarán las series

405 correspondientes al periodo AQ. Se descarta el análisis de las series en el periodo DQ, ya que
406 no resultan suficientemente largas para extraer conclusiones climatológicamente válidas.

407

408 **3.3.2. Potencia espectral**

409 En la Figura 6 se exhibe la potencia global de Wavelet de las series de caudal acumulado para
410 las distintas fases del ciclo anual y estaciones consideradas. Se puede apreciar que para ningún
411 aforo las periodicidades significativas son comunes entre las distintas fases. Es decir, la
412 variabilidad de baja frecuencia de las series es distinta entre fases, a pesar de pertenecer al
413 mismo aforo. Por otro lado, los espectros globales de cada fase mostraron una mayor similitud
414 entre estaciones, aunque solo los espectros del caudal de Fase_max de PDI y BDA
415 compartieron potencias significativas.

416

417 Las series de caudal acumulado en Fase_min, a pesar de exhibir un pico espectral en torno a
418 2.5 años, no muestran potencias significativamente distintas del espectro nulo en ninguna de
419 las estaciones de caudal. Por su parte, los espectros de las series de Fase_int muestran
420 semejanza entre aforos, ya que en las tres estaciones existe un pico de potencia en torno a 4
421 años, resultando significativo solo en la estación AND. Respecto a las series de Fase_max, las
422 tres estaciones muestran un pico espectral en torno a 2.5 años, resultando significativo solo en
423 la estación AND. Además, la estación BDA muestra potencias significativamente distintas del
424 espectro nulo para periodicidades en torno a 6 y 8 años, estando esta última señal también
425 presente en la estación PDI.

426

427 **3.3.3. Coherencia espacial y temporal**

428 El panel superior de la Figura 7 muestra la matriz de correlación entre las series de caudal de
429 las distintas fases del ciclo anual para cada estación de aforo. Debe resaltarse que se
430 correlacionaron las series de distintas fases pertenecientes al mismo año hidrológico
431 (considerando su inicio al comenzar la Fase_int). De este modo, para cada aforo, las series de
432 caudal de Fase_min se correlacionaron con las series de las fases restantes desfasadas un año
433 hacia atrás. Puede observarse que las series de Fase_max representan entre un 18 y 42% de la
434 varianza de las series de Fase_int (coeficiente de correlación entre 0,43 y 0,65) y entre un 31 y
435 40% de las series de Fase_min (correlaciones entre 0,56 y 0,64). Asimismo, las series de
436 Fase_int representan entre un 36 a 57% de la varianza de las series de Fase_min (coeficiente
437 de correlación entre 0,6 y 0,76). Se evidencia así la necesidad de analizar de forma separada la
438 variabilidad del caudal en las distintas fases del ciclo anual, ya que gran parte de la varianza de

439 las series de una fase no es representada por las demás. Este análisis es consistente con las
440 potencias espectrales de la sección anterior, donde en ninguna estación de aforo distintas fases
441 comparten potencias espectrales significativas.

442

443 En el panel inferior de la Figura 7 se muestra la matriz de correlación entre las series de las
444 distintas estaciones durante cada fase del ciclo anual. Puede observarse que en las tres fases
445 existe una alta coherencia espacial. La estación PDI presenta el máximo valor de correlación
446 con los demás aforos en todas las fases, indicando que gran parte de la variabilidad de los
447 caudales en la CRN en las distintas fases puede ser explicado por las series de PDI. Esto tiene
448 sentido físico, dado que la subcuenca de PDI contiene a las subcuencas de las otras dos
449 estaciones de aforo (ver sección 2.1 y Figura 1). En particular, las series de Fase_int y
450 Fase_max de PDI representan más del 80% de la varianza de las series de BDA (coeficiente de
451 correlación entre 0,91 y 0,94) y aproximadamente el 75% de las de AND (correlaciones entre
452 0,86 y 0,87). En consecuencia, para la exploración de forzantes se utilizarán las estaciones PDI
453 y AND. La primera porque es la que mayor varianza representa de las otras dos estaciones y la
454 segunda debido a que es la que menor varianza comparte con la primera.

455

456 **3.4 Análisis de los potenciales forzantes del sistema acoplado océano-atmósfera**

457 La Figura 8 muestra la correlación entre las series de caudal acumulado en las distintas fases
458 del ciclo anual y los índices climáticos promediados trimestralmente para las estaciones AND
459 y PDI. En las tres fases se correlacionó el caudal acumulado con los índices promediados en el
460 trimestre representativo de cada fase y los 4 trimestres previos. También se muestran los
461 trimestres para los cuales la CGW entre la serie de caudal y el índice climático resultó
462 significativamente distinta de la distribución nula para un intervalo de periodicidades de 2 a 4
463 años, de 4 a 7 años y mayores a 7 años.

464

465 *3.4.1. Fase_min*

466 El caudal de Fase_min de las dos estaciones consideradas presentaron correlaciones negativas
467 y coherencias significativas con el índice del MAS durante el verano previo, siendo ambas
468 señales coherentes en periodicidades contenidas entre 2 y 7 años. Esto sugiere una relación
469 entre mayor (menor) caudal acumulado en Fase_min y la ocurrencia de valores negativos
470 (positivos) del índice del MAS. Asimismo, el caudal de PDI mostró correlaciones positivas y
471 coherencias en periodicidades mayores a 7 años, significativas con el índice TNA en el propio

472 trimestre y el previo. Esto sugiere una relación lineal, simultánea y directa de los caudales
473 mínimos del río Neuquén con la TSM del Atlántico tropical norte entre enero y abril.

474

475 3.4.2. Fase_Int

476 El caudal de ambas estaciones exhibió correlaciones positivas y coherencias en periodicidades
477 de 2 a 4 años significativas con los índices Niño 3.4 y Niño 4 en el propio trimestre y el previo,
478 evidenciando una relación directa y simultánea entre la TSM del Pacífico central ecuatorial y
479 el caudal en la Fase_int. De este modo, se insinúa una relación entre mayor (menor) TSM en
480 el Pacífico ecuatorial y la ocurrencia de mayor (menor) caudal acumulado en el invierno. El
481 caudal de la estación AND mostró también una señal estable de correlaciones negativas y
482 coherencia en periodicidades de 2 a 4 años significativas con el índice TSA en el mismo
483 trimestre y los dos anteriores. Esto es indicio de una aparente relación entre mayor (menor)
484 caudal acumulado en la fase analizada y la ocurrencia de anomalías negativas (positivas) de
485 TSM en el Atlántico tropical sur.

486

487 3.4.3. Fase_max

488 El caudal de Fase_max en la estación AND mostró correlaciones positivas y coherencia en
489 periodicidades de 2-4 años significativas con el índice DMI del DOI en el trimestre SON. De
490 esta manera, se encontró una relación estadísticamente significativa entre valores positivos
491 (negativos) del índice DMI y acumulados mayores (menores) de caudal en Fase_max.
492 También, el caudal de AND expuso correlaciones positivas y coherencia en periodicidades
493 menores a 4 años con el índice Niño1.2 en el mismo trimestre y los dos trimestres previos.
494 Además, durante el mismo trimestre OND se encontró correlación negativa y coherencia en
495 periodicidades de 2 a 4 años con el índice del MAS. Al igual que en Fase_min, se sugiere una
496 relación entre la ocurrencia de valores negativos (positivos) del índice del MAS y mayores
497 (menores) acumulados en Fase_max.

498

499 Por su parte, el caudal de PDI mostró correlaciones negativas y coherencia en periodicidades
500 mayores a 7 años con el índice TNA en el mismo trimestre y los dos anteriores. La Figura 9
501 muestra las series estandarizadas y filtradas con un filtro gaussiano de 8 términos del caudal
502 acumulado en Fase_max de PDI y el índice TNA para los trimestres mencionados (previa
503 eliminación de la tendencia lineal). En la figura puede identificarse la relación inversa en todo
504 el periodo que existe en baja frecuencia entre el índice y el caudal de Fase_max.

505

506 **4. DISCUSIÓN**

507 Del análisis de métodos de rellenado de datos faltantes se desprende que las regresiones lineales
508 múltiples tienen el mejor desempeño en la CRN entre los métodos evaluados, por lo que los
509 datos faltantes fueron rellenados con dicho método. Cabe destacar que no fue el objetivo de
510 este estudio hacer un exhaustivo análisis comparativo del desempeño de la mayor cantidad de
511 métodos de rellenado de datos de caudal utilizados en la bibliografía para la cuenca. Sin
512 embargo, dicho análisis es imperioso debido a que el desempeño de los métodos de rellenado
513 de datos en ciencias ambientales depende de factores tales como el ciclo anual, densidad
514 espacial de datos y topografía, entre muchos otros (Li & Heap, 2011), y a que existe una gran
515 variedad de diferentes métodos (ver diversos métodos de rellenado de datos de caudal en Lauro
516 et al., 2015; Ismail et al., 2017; Saplioglu & Kucukerdem, 2018; Hamzah et al., 2020, entre
517 otros).

518

519 Las fases que componen el ciclo anual fueron identificadas a partir de una metodología objetiva
520 basada en un análisis de puntos de quiebre sobre un ciclo anual representativo, obtenido
521 mediante los primeros armónicos de Fourier. La metodología no solo identificó las tres fases
522 del ciclo anual, en total concordancia con el ciclo pluvio-nival del curso (Masiokas et al., 2019),
523 sino que también permitió establecer una fecha de referencia de inicio y final de las mismas.
524 De acuerdo a esta, la fase de mínimo caudal tiene lugar entre principios del año calendario y
525 fines de mayo, cuando inicia la fase de máximo relativo que se extiende hasta mediados de
526 septiembre. Por último, la fase de máximo absoluto inicia al finalizar la fase de máximo relativo
527 y se extiende hasta principios del año calendario siguiente. La metodología propuesta no se
528 limita a la variable caudal ni a la región de estudio, sino que puede ser utilizada en otras
529 variables hidrometeorológicas como precipitación o temperatura y otras regiones de estudio,
530 construyendo el ciclo anual a partir del mínimo número de armónicos que permitan describir
531 el ciclo anual de la variable en cuestión.

532

533 Las series estimadas representativas de cada fase mostraron la presencia de un punto de quiebre
534 hacia menores valores acumulados, entre los años 2007 y 2010. Esto es coherente con los
535 trabajos de Bais (2017) y Masiokas et al. (2019), quienes señalan que el déficit de caudal
536 ocurrido en los años posteriores a 2010 y 2007, respectivamente, solo se encuentran en registros
537 de principios del siglo XX. Tal déficit no parece limitarse al caudal de los ríos de la Patagonia
538 norte, ya que algunas cuencas andinas de Mendoza (Rivera et al., 2018, 2021) y Chile
539 (Garreaud et al., 2017; Valdés-Pineda et al., 2020) sufrieron importantes sequías luego del año

540 2010, con serias implicancias económicas, sociales y ambientales. En ese sentido, la literatura
541 documenta una sostenida reducción del manto de nieve y de los glaciares en Los Andes
542 patagónicos (Braun et al., 2019; Saavedra et al., 2018; Masiokas et al., 2008), mostrando una
543 significativa aceleración en la reducción a partir del 2006 (Cordero et al., 2019). Esto permite
544 elaborar la hipótesis de que los quiebres detectados entre 2007 y 2010 se podrían asociar a un
545 cambio de régimen en la precipitación en Los Andes patagónicos, especialmente durante el
546 periodo invernal, lo que redundaría en un cambio del régimen de caudales. Dada su relevancia,
547 la naturaleza del quiebre identificado debe ser analizada de forma exhaustiva. No obstante, su
548 estudio excede los objetivos del presente trabajo y será llevado a cabo en futuros trabajos.

549

550 Las series no mostraron tendencias significativamente distintas de cero en cada uno de los
551 periodos homogéneos analizados, lo cual contrasta con Lauro et al. (2019), quienes hallaron
552 que el caudal de primavera del río Neuquén presenta tendencia negativa y significativamente
553 distinta de cero. Las diferencias pueden atribuirse a la inclusión en este trabajo de otra estación
554 de aforo y a diferencias en los periodos de estudio, siendo que las series analizadas por Lauro
555 et al. (2019) corresponden al periodo 1970-2011, de modo que concluyen próximas al año del
556 quiebre encontrado. Dado que la presencia de un quiebre hacia menores valores puede inducir
557 una tendencia negativa y significativamente distinta de cero (Hurtado et al., 2020), se evaluó
558 la tendencia del periodo de estudio omitiendo la presencia del quiebre a fin de probar tal
559 hipótesis. En la Figura 10 puede verse que al omitirse el quiebre, la totalidad de las series
560 presentan tendencias negativas y significativamente no nulas. De este modo, el quiebre
561 ocurrido entre el 2007 y 2010 induce una tendencia negativa y significativa al 95% de
562 confianza, aunque espuria. Esto ratifica lo establecido por Masiokas et al. (2019), quienes
563 atribuyen la tendencia negativa del caudal histórico de la región de estudio a la década más
564 seca de su serie histórica, que tuvo lugar entre 2006 y 2015.

565

566 El estudio de los forzantes de la variabilidad del caudal de Fase_min arrojó una relación inversa
567 con el índice del MAS del verano previo. Este resultado coincide parcialmente con Rivera et
568 al. (2018), quienes encuentran una relación directa entre tal índice en escala decadal y la
569 ocurrencia de condiciones hidrológicas más secas en la región, mientras que la relación hallada
570 en este trabajo es en mayor frecuencia. Además, se encontró una relación negativa y simultánea
571 entre el caudal de Fase_max y el índice del MAS, en total concordancia con Lauro et al. (2019).
572 La fase negativa (positiva) del MAS está asociado a flujo de los oestes incrementado
573 (debilitado) en latitudes medias (Fogt & Marshall, 2020), que modula la propagación de los

574 transientes baroclínicos (Carvalho et al., 2005; Reboita et al., 2009), los cuales generan gran
575 parte de la precipitación en la región. En este sentido, es posible que el MAS module a través
576 de los transientes baroclínicos el caudal en la región, aunque para afirmar esto es necesario un
577 mayor estudio dinámico.

578

579 Se hallaron relaciones directas en escala interanual entre los índices centrales del evento ENOS
580 y el caudal de Fase_int y entre el índice Niño1.2 y el caudal de Fase_max, para los mismos
581 trimestres y los previos. Esto resulta coherente con las potencias espectrales significativas
582 encontradas en este trabajo en torno a 4 años para la Fase_int y a 2 años en Fase_max, siendo
583 las periodicidades características del ENOS (Torrence & Compo, 1998). Estos resultados
584 también concuerdan con Compagnucci y Araneo (2007), quienes detectan una relación
585 simultánea entre el caudal del río Neuquén y el índice Niño3.4. Además, concuerdan con Berri
586 et al. (2019), quienes muestran una relación lineal y directa entre la ocurrencia de eventos El
587 Niño (La Niña) y anomalías positivas (negativas) de caudal medio mensual del río Neuquén,
588 siendo estas máximas durante el pico de mitad del año.

589

590 El caudal de Fase_max mostró una relación directa en escala interanual con el índice DMI del
591 DOI el trimestre previo, de modo que valores positivos (negativos) del DMI se asocian a mayor
592 (menor) caudal en la Fase_max. Esto es coherente con el pico espectral significativo en torno
593 a 2 años encontrado en esta fase, ya que el DOI presenta una una variabilidad cuasi-bienal
594 (Behera & Yamagata, 2003). Este resultado coincide con Romero et al. (2014), quienes
595 identifican mayor precipitación en la región de estudio durante la primavera bajo condiciones
596 de DOI positivo. El modo en que el DOI impactaría en el caudal de la región es a través de
597 ondas de Rossby cuasi-estacionarias forzadas producto del calentamiento anómalo de la cuenca
598 del Océano Índico (Reboita et al., 2021).

599

600 Por último, se identificó una relación inversa en baja frecuencia entre el índice TNA del Océano
601 Atlántico Norte y el caudal de Fase_max, coherente con la potencia espectral significativa en
602 torno a 8 años identificada en las series de Fase_max, que es característica de la variabilidad
603 del Atlántico (Enfield et al., 1999). Esta relación entre la TSM del Atlántico norte y el caudal
604 de la región norte de la Patagonia es registrada por Masiokas et al. (2019), quienes detectaron
605 una correlación negativa y significativa con el índice de la Oscilación Multidecadal del
606 Atlántico. Sin embargo, en tal trabajo las correlaciones con el índice TSA no resultan
607 significativas, mientras que en el presente estudio se hallaron relaciones inversas y

608 significativas entre dicho índice y el caudal de Fase_int. Cabe destacar que la dinámica detrás
609 de esta relación estadística encontrada no es trivial y debe ser explorada para determinar el
610 modo en que el Atlántico impacta en el caudal del río Neuquén.

611

612 5. CONCLUSIONES

613 El presente trabajo llevó adelante una caracterización estadística de las series temporales del
614 caudal del río Neuquén en las distintas fases de su ciclo anual usando datos de caudal medio
615 diario del periodo 1980-2019, previa evaluación del mejor método de rellenado de datos para
616 la región. También, se examinaron los potenciales forzantes del sistema océano-atmósfera que
617 modulan la variabilidad del caudal del río Neuquén en las distintas fases. Los principales
618 resultados obtenidos se listan a continuación:

619

620 ● Entre los métodos de rellenado de datos de caudal medio diario analizados, las
621 regresiones lineales múltiples (MLR) resultaron las más adecuadas para la cuenca.

622 ● La metodología objetiva propuesta para identificar las fases que componen el ciclo
623 anual del curso permitió determinar las fechas de inicio y final de las tres fases que
624 componen el ciclo anual pluvio nival del río Neuquén.

625 ● Las series de caudal acumulado en las distintas fases del ciclo anual mostraron un
626 quiebre o salto abrupto hacia menores caudales entre el año 2007 y 2010, alcanzando
627 reducciones en el valor medio de hasta 50% luego del quiebre.

628 ● En los periodos homogéneos antes y después del quiebre, las series no mostraron
629 tendencias significativas. Sin embargo, el quiebre induce una tendencia negativa y
630 significativa al tomar el período completo, de naturaleza espuria.

631 ● Las series temporales de cada fase mostraron buena coherencia espacial entre los
632 distintos aforos estudiados, mientras que las series de las distintas fases mostraron
633 variabilidad distinta entre sí.

634 ● El caudal de la fase mínima mostró estar potencialmente modulado por el MAS y la
635 TSM del norte del Océano Atlántico tropical, mientras que el de fase intermedia por el
636 ENOS y la TSM del sur del Océano Atlántico tropical. Por su parte, el caudal de fase
637 máxima exhibió estar influenciado por el ENOS, DOI, MAS y la TSM del norte del
638 Atlántico tropical.

639

640 Este trabajo brinda información sobre el cambio del régimen hidrológico del río Neuquén y su
641 variabilidad, relevante para la gestión del recurso hídrico en un curso estratégico para la región

642 que actualmente se encuentra bajo emergencia hídrica. Resta para futuros trabajos estudiar la
643 dinámica climática subyacente a la variabilidad del caudal del río Neuquén, con el fin de
644 determinar el modo específico en que los forzantes remotos identificados estadísticamente en
645 este trabajo impactan tanto en el caudal como en el quiebre identificado.

646

647 **AGRADECIMIENTOS**

648 El presente trabajo fue realizado en el contexto de una beca de Estímulo a las Vocaciones
649 Científicas del Consejo Interuniversitario Nacional (CIN), enmarcado en el proyecto PPID-
650 UNLP G006 “Variaciones multiescala de la precipitación y sus extremos sobre Argentina y su
651 relación con el almacenamiento de agua continental”. Los resultados de este trabajo forman
652 parte de la tesis de grado de Lorenzo Ricetti, quien agradece a la Dra. Josefina Blázquez y al
653 Dr. Pablo Luis Antico, jurado de la misma, por sus valiosas correcciones y comentarios. Los
654 autores agradecen al Dr. Pablo Gabriel Zaninelli y a dos revisores anónimos, por la fructuosa
655 discusión compartida durante el proceso de escritura de este manuscrito. También agradecen
656 al proyecto PPID-UNLP G008 “Extremos húmedos y secos en Argentina. Análisis de los
657 cambios proyectados para fines del siglo XXI”, por el apoyo financiero y a la Secretaría de
658 Infraestructura y Política Hídrica de la Nación por la provisión de los datos utilizados en este
659 trabajo.

660

661 **REFERENCIAS**

662 Aguayo, R., León-Muñoz, J., Vargas-Baecheler, J., Montecinos, A., Garreaud, R., Urbina, M.,
663 ... & Iriarte, J. L. (2019). The glass half-empty: climate change drives lower freshwater input
664 in the coastal system of the Chilean Northern Patagonia. *Climatic Change*, 155, 417-435.

665

666 Alfieri, L., Lorini, V., Hirpa, F. A., Harrigan, S., Zsoter, E., Prudhomme, C., & Salamon, P.
667 (2020). A global streamflow reanalysis for 1980–2018. *Journal of Hydrology X*, 6, 100049.

668

669 Araneo, D. C., & Compagnucci, R. H. (2008). Atmospheric circulation features associated to
670 Argentinean Andean rivers discharge variability. *Geophysical Research Letters*, 35(1).

671

672 Bais, F. M. (2017). Informe técnico final. Caracterización de sequías hidrológicas en cuencas
673 de la patagonia de la república argentina. Facultad de Ciencias exactas, físicas y naturales,
674 Universidad Nacional de Córdoba, p36. <https://rdu.unc.edu.ar/handle/11086/5100>.

675

- 676 Behera, S. K., & Yamagata, T. (2003). Influence of the Indian Ocean dipole on the Southern
677 Oscillation. *Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II*, 81(1), 169-177
678
- 679 Berri, G. J., Bianchi, E., & Müller, G. V. (2019). El Niño and La Niña influence on mean river
680 flows of southern South America in the 20th century. *Hydrological Sciences Journal*, 64(8),
681 900-909.
682
- 683 Braun, M. H., Malz, P., Sommer, C., Farías-Barahona, D., Sauter, T., Casassa, G., ... &
684 Seehaus, T. C. (2019). Constraining glacier elevation and mass changes in South America.
685 *Nature Climate Change*, 9(2), 130-136.
686
- 687 Campitelli, E. (2018). metr-visualización y manejo de datos meteorológicos. In Conferencia
688 Latinoamericana sobre Uso de R en Investigación+Desarrollo (LatinR 2018)-JAIIO 47
689 (CABA, 2018).
690
- 691 Carvalho, L. M., Jones, C., & Ambrizzi, T. (2005). Opposite phases of the Antarctic Oscillation
692 and relationships with intraseasonal to interannual activity in the tropics during the austral
693 summer. *Journal of climate*, 18(5), 702-718.
694
- 695 Cerrudo, C. G., Díaz, G. M., Juárez, S. H., & Ferreira, L. J. (2017). Análisis de la relación
696 espacio temporal entre la precipitación estimada por el satélite TRMM (3B42RT) y el caudal
697 medio diario en la cuenca del Río Iguazú. *Meteorológica*, 42(1), 39-52.
698
- 699 Chan, S. C., Behera, S. K., & Yamagata, T. (2008). Indian Ocean dipole influence on South
700 American rainfall. *Geophysical Research Letters*, 35(14).
701
- 702 Compagnucci, R. H., & Araneo, D. C. (2007). Alcances de El Niño como predictor del caudal
703 de los ríos andinos argentinos. *Ingeniería hidráulica en México*, 22(3), 23-35.
704
- 705 Cordero, R. R., Asencio, V., Feron, S., Damiani, A., Llanillo, P. J., Sepulveda, E., ... & Casassa,
706 G. (2019). Dry-season snow cover losses in the Andes (18–40 S) driven by changes in large-
707 scale climate modes. *Scientific Reports*, 9(1), 16945.
708

- 709 Enfield, D. B., Mestas-Nuñez, A. M., Mayer, D. A., & Cid-Serrano, L. (1999). How ubiquitous
710 is the dipole relationship in tropical Atlantic sea surface temperatures?. *Journal of Geophysical*
711 *Research: Oceans*, 104(C4), 7841-7848.
712
- 713 Finessi, F. G. & Groch, D. (2018). Tesis de licenciatura. Estudio hidrológico de la cuenca alta
714 del río Neuquén. Facultad de Humanidades, Universidad Nacional del Comahue, p19.
715 [http://rdi.uncoma.edu.ar/bitstream/handle/uncomaid/5825/Tesis%20Finessi%20&%20Groch](http://rdi.uncoma.edu.ar/bitstream/handle/uncomaid/5825/Tesis%20Finessi%20&%20Groch%20(2018).pdf?sequence=1)
716 [%20\(2018\).pdf?sequence=1](http://rdi.uncoma.edu.ar/bitstream/handle/uncomaid/5825/Tesis%20Finessi%20&%20Groch%20(2018).pdf?sequence=1).
717
- 718 Fogt, R. L., & Marshall, G. J. (2020). The Southern Annular Mode: variability, trends, and
719 climate impacts across the Southern Hemisphere. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate*
720 *Change*, 11(4), e652.
721
- 722 Garreaud, R. D., Alvarez-Garreton, C., Barichivich, J., Boisier, J. P., Christie, D., Galleguillos,
723 M., ... & Zambrano-Bigiarini, M. (2017). The 2010–2015 megadrought in central Chile:
724 Impacts on regional hydroclimate and vegetation. *Hydrology and earth system sciences*,
725 21(12), 6307-6327.
726
- 727 González, M. H., & Vera, C. S. (2010). On the interannual wintertime rainfall variability in the
728 Southern Andes. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological*
729 *Society*, 30(5), 643-657.
730
- 731 Grolemond, G. & Wickham, H. (2011). Dates and times made easy with lubridate. *Journal of*
732 *statistical software*, 40(1), 1–25.
733
- 734 Hamzah, F. B., Mohd Hamzah, F., Mohd Razali, S. F., Jaafar, O., & Abdul Jamil, N. (2020).
735 Imputation methods for recovering streamflow observation: A methodological review. *Cogent*
736 *Environmental Science*, 6(1), 1745133.
737
- 738 Hipel, K. W., & McLeod, A. I. (1994). *Time series modelling of water resources and*
739 *environmental systems*. Elsevier.
740

- 741 Hurtado, S. I., Zaninelli, P. G., & Agosta, E. A. (2020). A multi-breakpoint methodology to
742 detect changes in climatic time series. An application to wet season precipitation in subtropical
743 Argentina. *Atmospheric Research*, 241, 104955.
744
- 745 Hurtado, S. I., Zaninelli, P. G., Agosta, E. A., & Ricetti, L. (2021). Infilling methods for
746 monthly precipitation records with poor station network density in Subtropical Argentina.
747 *Atmospheric Research*, 254, 105482.
748
- 749 Hyndman, R. J., & Khandakar, Y. (2008). Automatic time series forecasting: the forecast
750 package for R. *Journal of statistical software*, 27, 1-22.
751
- 752 Ismail, W. N. W., Zin, W. Z. W., & Ibrahim, W. (2017). Estimation of rainfall and stream flow
753 missing data for Terengganu, Malaysia by using interpolation technique methods. *Malaysian*
754 *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 13(3), 213-217.
755
- 756 Labat, D. (2010). Cross wavelet analyses of annual continental freshwater discharge and
757 selected climate indices. *Journal of Hydrology*, 385(1-4), 269-278.
758
- 759 Lauro, C., Vich, A., & Moreiras, S. M. (2015). Variabilidad del régimen fluvial en cuencas de
760 la región de Cuyo. *Geoacta*, 40(2), 28-51.
761
- 762 Lauro, C., Vich, A. I., & Moreiras, S. M. (2019). Streamflow variability and its relationship
763 with climate indices in western rivers of Argentina. *Hydrological Sciences Journal*, 64(5), 607-
764 619.
765
- 766 Li, J., & Heap, A. D. (2011). A review of comparative studies of spatial interpolation methods
767 in environmental sciences: Performance and impact factors. *Ecological Informatics*, 6(3-4),
768 228-241.
769
- 770 Maraun, D., & Kurths, J. (2004). Cross wavelet analysis: significance testing and pitfalls.
771 *Nonlinear Processes in Geophysics*, 11(4), 505-514.
772
- 773 Marshall, G. J. (2003). Trends in the Southern Annular Mode from observations and
774 reanalyses. *Journal of climate*, 16(24), 4134-4143.

775

776 Masiokas, M. H., Villalba, R., Luckman, B. H., Lascano, M. E., Delgado, S., & Stepanek, P.
777 (2008). 20th-century glacier recession and regional hydroclimatic changes in northwestern
778 patagonia. *Global and Planetary Change*, 60(1-2), 85–100.

779

780 Masiokas, M. H., Cara, L., Villalba, R., Pitte, P., Luckman, B. H., Toum, E., ... & Mauget, S.
781 (2019). Streamflow variations across the Andes (18–55 S) during the instrumental era.
782 *Scientific Reports*, 9(1), 17879.

783

784 Ng, W. W., Panu, U. S., & Lennox, W. C. (2009). Comparative studies in problems of missing
785 extreme daily streamflow records. *Journal of Hydrologic Engineering*, 14(1), 91-100.

786

787 Organismo Regulador de Seguridad de Presas - ORSEP (2020). Diques argentinos en realidad
788 aumentada. Secretaria de Infraestructura y Política Hídrica.
789 https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/orsep-diques_argentinos_en_ra.pdf

790

791 Pessag N, Flaherty S, Solman S, Pascual M (2020) Climate change in Northern Patagonia:
792 critical decrease in water resources. *Theoretical and Applied Climatology* (140), 807–822 .

793

794 Pohlert, T., Pohlert, M. T., & Kendall, S. (2016). Package ‘trend’. Title Non-Parametric Trend
795 Tests and Change-Point Detection. Available at: <https://cran.r-project.org/package=trend>.

796

797 R Core Team (2022). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation
798 for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

799

800 Raggio, G. A., & Saurral, R. I. (2021). Probable intensificación de las condiciones de déficit
801 hídrico sobre la región del Comahue ante diversos escenarios de Cambio Climático.
802 *Meteorológica*; 46; 1; 6-2021; 48-71

803

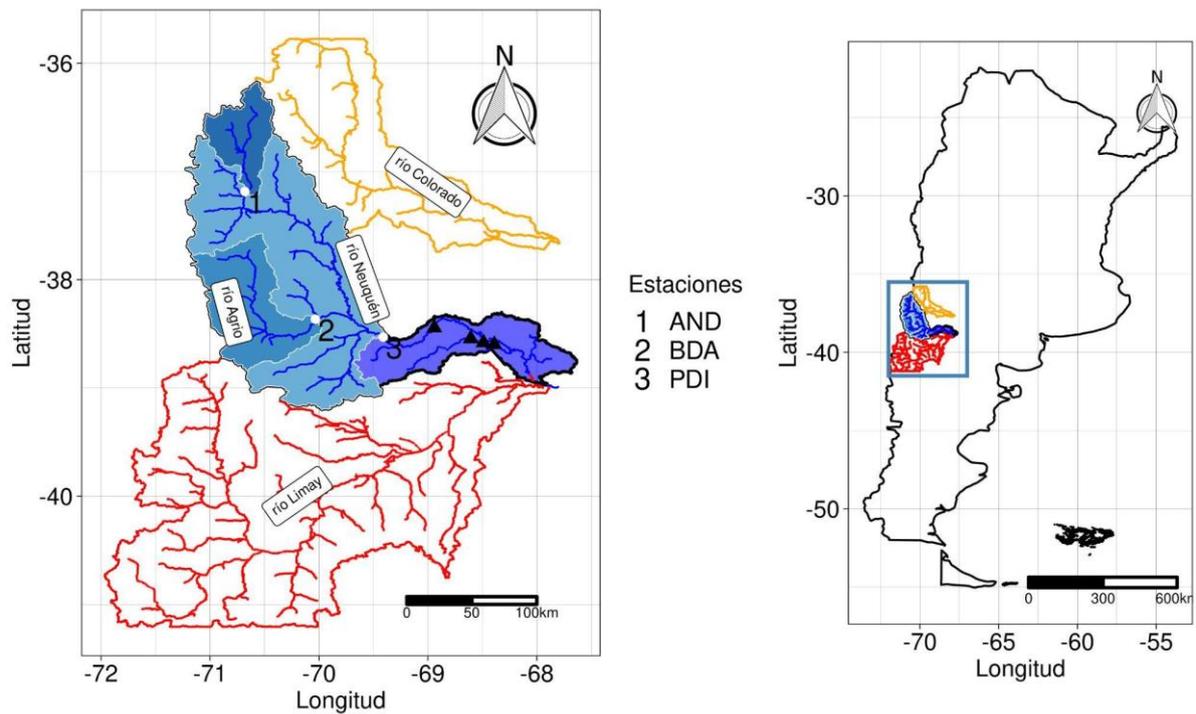
804 Reboita, M. S., Ambrizzi, T., & Rocha, R. P. D. (2009). Relationship between the southern
805 annular mode and southern hemisphere atmospheric systems. *Revista Brasileira de*
806 *Meteorológica*, 24, 48-55.

807

- 808 Reboita, M. S., Ambrizzi, T., Crespo, N. M., Dutra, L. M. M., Ferreira, G. W. D. S., Rehbein,
809 A., ... & Souza, C. A. D. (2021). Impacts of teleconnection patterns on South America climate.
810 *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1504(1), 116-153.
811
- 812 Rivera, J. A., Araneo, D. C., Penalba, O. C., & Villalba, R. (2018). Regional aspects of
813 streamflow droughts in the Andean rivers of Patagonia, Argentina. Links with large-scale
814 climatic oscillations. *Hydrology Research*, 49(1), 134-149.
815
- 816 Rivera, J. A., Otta, S., Lauro, C., & Zazulie, N. (2021). A decade of hydrological drought in
817 Central-Western Argentina. *Frontiers in Water*, 3, 640544.
818
- 819 Romero, P. E., & González, M. H. (2016). Relación entre caudales y precipitación en algunas
820 cuencas de la Patagonia norte. *Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente*,
821 (36), 7-13.
822
- 823 Romero, P. E., Gabarini E. M., González M. H. (2014). Características hídricas y climáticas
824 del norte Patagónico. Tagliavini et al., eds. II Encuentro de investigadores en formación en
825 Recursos Hídricos, 9-10.
826
- 827 Saavedra, F. A., Kampf, S. K., Fassnacht, S. R., & Sibold, J. S. (2018). Changes in Andes snow
828 cover from MODIS data, 2000–2016. *The Cryosphere*, 12(3), 1027-1046.
829
- 830 Sammut, C., & Webb, G. I. (2010). Leave-one-out cross-validation. *Encyclopedia of machine*
831 *learning*. Springer, Boston, MA, pags 600-6001.
832
- 833 Saplioglu, K., & Kucukerdem, T. S. (2018). Estimation of missing streamflow data using
834 ANFIS models and determination of the number of datasets for ANFIS: the case of Yeşilırmak
835 River.
836
- 837 Scarpati, O. E., Spescha, L., Fioriti, M. J., & Capriolo, A. D. (2001). El niño driven climate
838 variability and drainage anomalies in Patagonian region Argentina. *Cuadernos de Investigación*
839 *Geográfica*, 27, 179-191.
840

- 841 Sen, P. K. (1968). Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. Journal of the
842 American statistical association, 63(324), 1379-1389.
843
- 844 Torrence, C., & Compo, G. P. (1998). A practical guide to wavelet analysis. Bulletin of the
845 American Meteorological society, 79(1), 61-78.
846
- 847 Valdés-Pineda, R., García-Chevesich, P., Valdés, J. B., & Pizarro-Tapia, R. (2020). The first
848 drying lake in Chile: causes and recovery options. Water, 12(1), 290.
849
- 850 Vich, A. I. J., Bizzotto, F., Vaccarino, E., Correas, M., Manduca, F., Paoli, C. U., & Malinow,
851 G. V. (2010). Tendencias y cambios abruptos en el escurrimiento de algunos ríos con nacientes
852 en la cordillera y serranías del oeste argentino. Criterios para la determinación de crecidas de
853 diseño en sistemas climáticos cambiantes. Carlos Ubaldo Paoli et al. 1a ed.-Santa Fe:
854 Universidad Nacional del Litoral, 149-166.
855
- 856 Wickham, H., Averick, M., Bryan, J., Chang, W., McGowan, L. D., François, R., Grolemond,
857 G., Hayes, A., Henry, L., Hester, J., et al. (2019). Welcome to the tidyverse. Journal of open
858 source software, 4(43), 1686.
859
860
861
862
863
864
865
866
867
868
869
870
871
872
873
874

875 FIGURAS Y TABLAS.



876

877 **Figura 1.** Cuenca del río Neuquén (CRN, sombreado azul y contorno negro), región de estudio.

878 Cuenca del río Colorado (contorno amarillo) y del Limay (contorno rojo). Estaciones de aforo

879 utilizadas en el estudio (puntos blancos, números negros): Andacollo (AND), Bajada del Agrión

880 (BDA) y Paso de Indios (PDI) y sus subcuencas asociadas (contornos blancos, sombreados

881 azules). Complejo hidroeléctrico Cerros Colorados (triángulos negros).

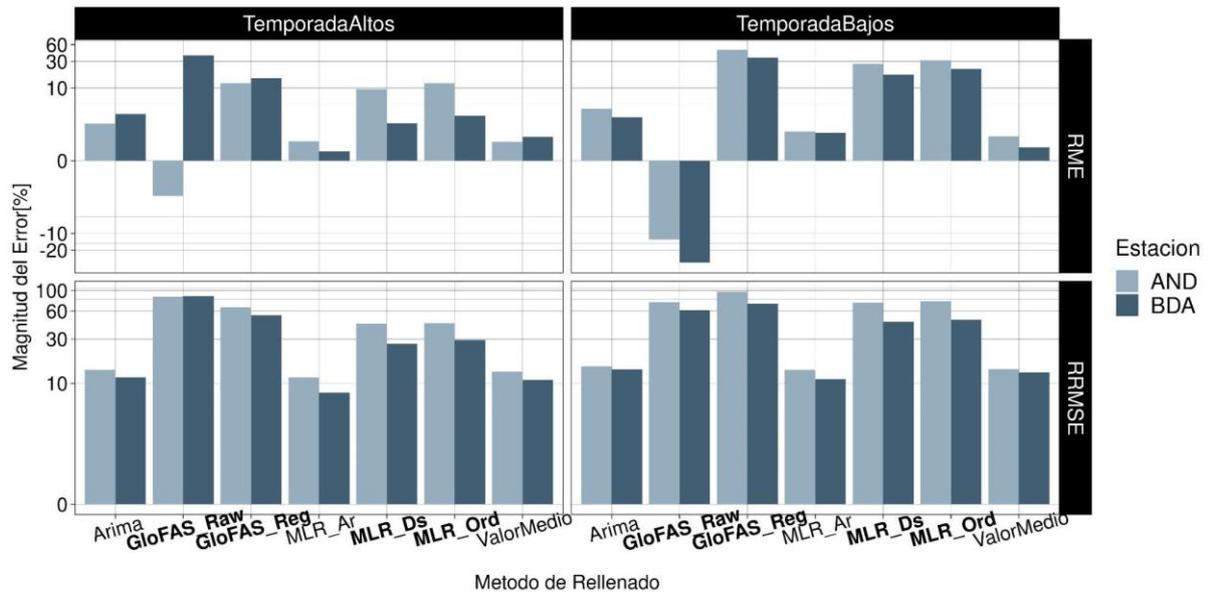
882

883

884

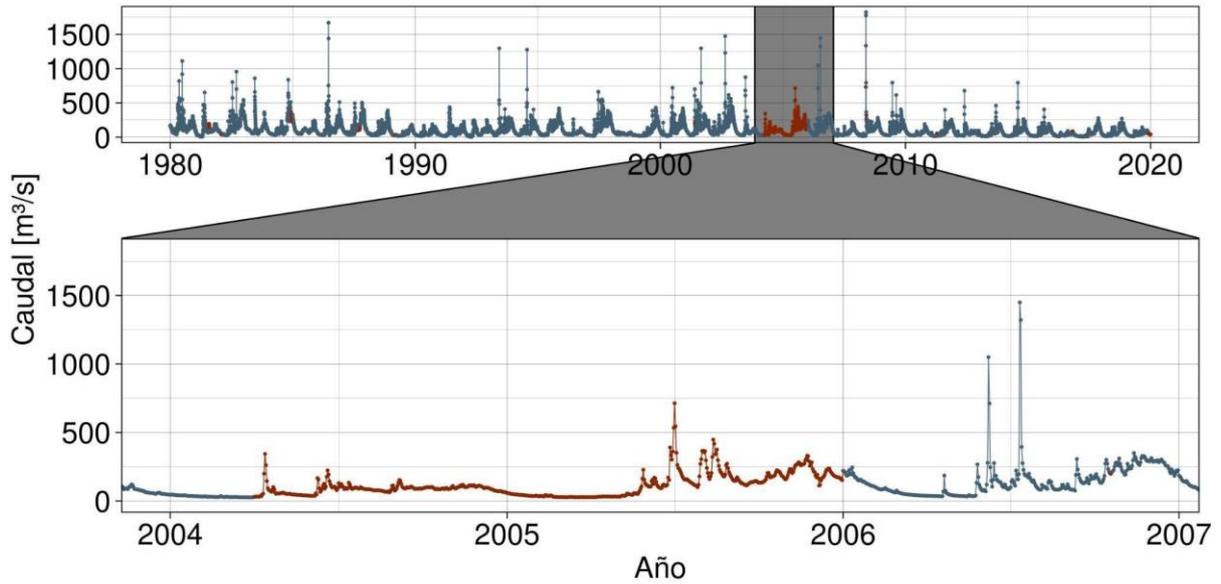
885

886



887
 888 **Figura 2.** RRMSE (paneles inferiores) y RME (paneles superiores) de los modelos evaluados
 889 para rellenar datos faltantes en la temporada de alto (paneles izquierdos) y bajo caudal
 890 (paneles derechos) de las estaciones AND y BDA (azul claro y oscuro, respectivamente). Los
 891 modelos en negrita son capaces de rellenar periodos continuos con faltantes. Se utiliza una
 892 escala de arco seno hiperbólico para mejor visualización de los bajos errores.

893
 894
 895
 896
 897
 898
 899
 900
 901
 902
 903
 904
 905
 906
 907



908

909 **Figura 3.** Serie temporal de la estación AND para el periodo de estudio. Los valores en rojo
910 son datos faltantes que fueron rellenados con el método más adecuado. El panel inferior
911 muestra ampliado el periodo comprendido entre el año 2004 y 2007.

912

913

914

915

916

917

918

919

920

921

922

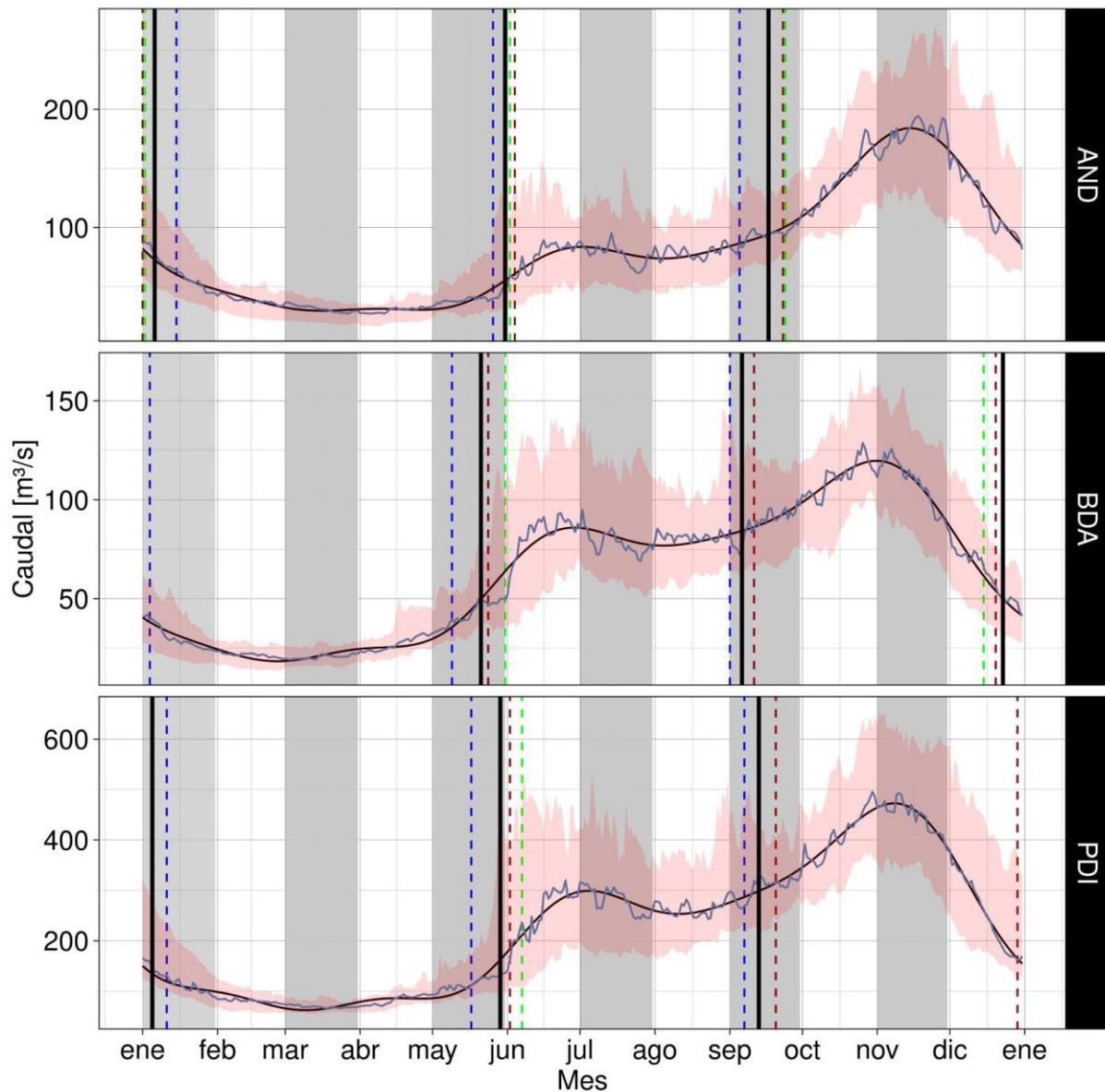
923

924

925

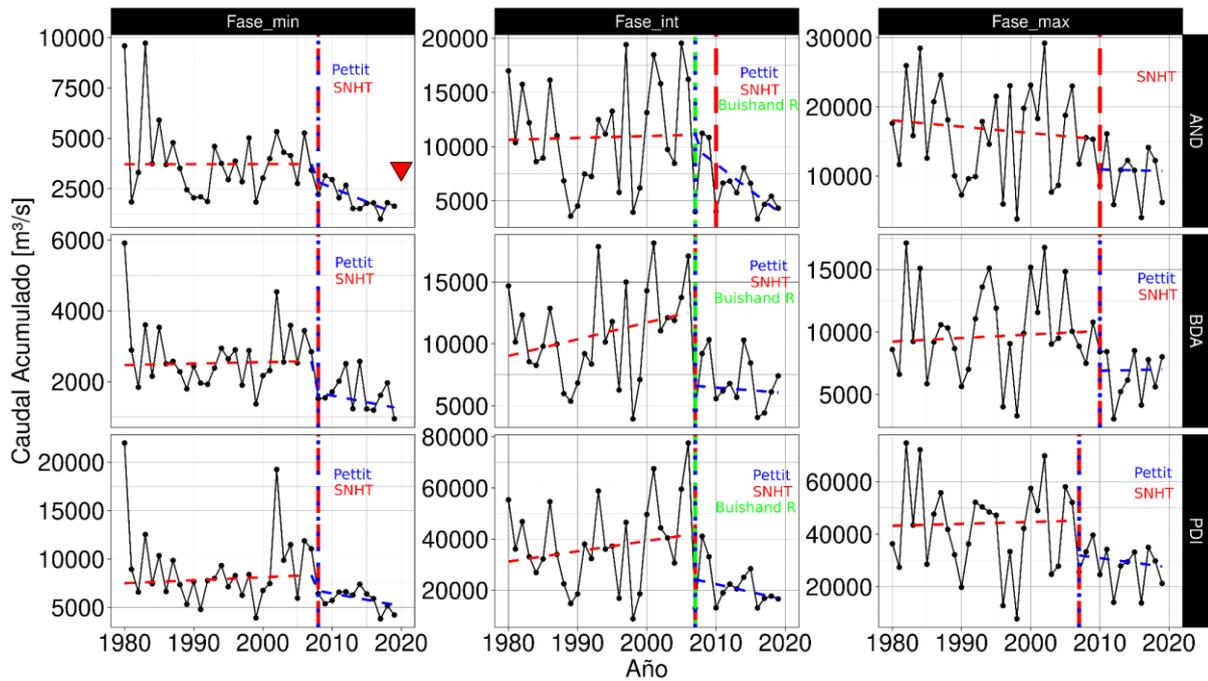
926

927



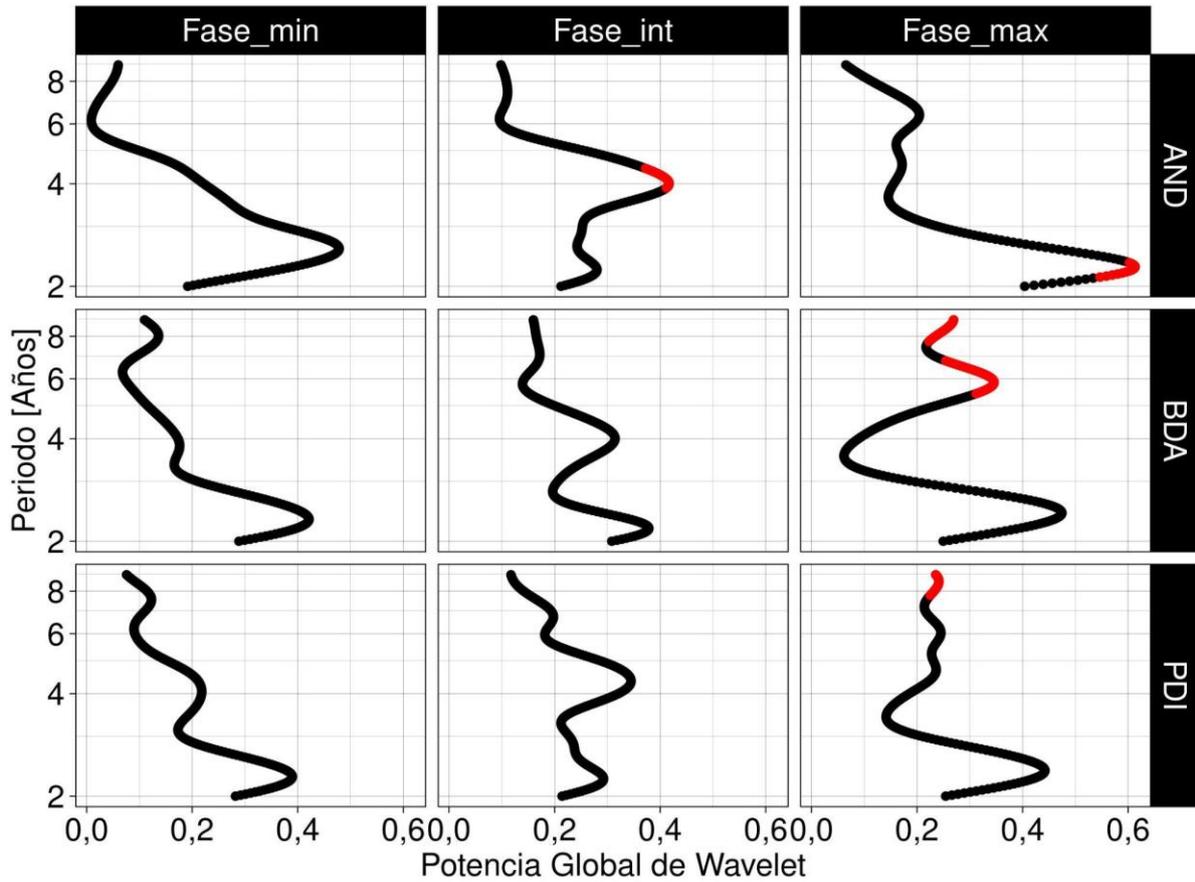
928

929 **Figura 4.** *Ciclo_med* (línea azul) y *Ciclo_arm* (línea negra) obtenidos a partir de caudales
 930 diarios. Área entre el percentil 25 y 75 de la distribución de caudales de cada día del año
 931 (sombreado rosa). Quiebres identificados por los test de Pettit (línea punteada azul),
 932 Buishand-R (línea punteada verde) y SNHT (línea punteada roja). Las líneas verticales negras
 933 muestran el promedio de las fechas de cada quiebre. Bandas verticales blancas y grises
 934 representan los 12 meses del año.



935
 936 **Figura 5.** Series temporales de caudal acumulado en las distintas fases del ciclo anual (curva
 937 negra). Inhomogeneidades detectadas por las metodologías Pettit (línea vertical azul),
 938 Buishand-R (línea vertical verde) y SNHT (línea vertical roja). El texto en cada panel refiere
 939 a el/los test que identificaron un quiebre en cada serie temporal. Rectas de tendencia lineal
 940 antes y después del quiebre identificado (líneas discontinuas rojas y azules, respectivamente).
 941 El triángulo indica tendencia significativa al 90 % de confianza.

942
 943
 944
 945
 946
 947
 948
 949
 950
 951
 952
 953
 954
 955
 956



957

958 **Figura 6.** Potencia espectral global obtenida con la transformada de Wavelet de las series de
 959 caudal acumulado en las distintas fases del ciclo anual (línea negra). Potencias
 960 significativamente distintas del espectro nulo con una confianza del 90% (puntos rojos).

961

962

963

964

965

966

967

968

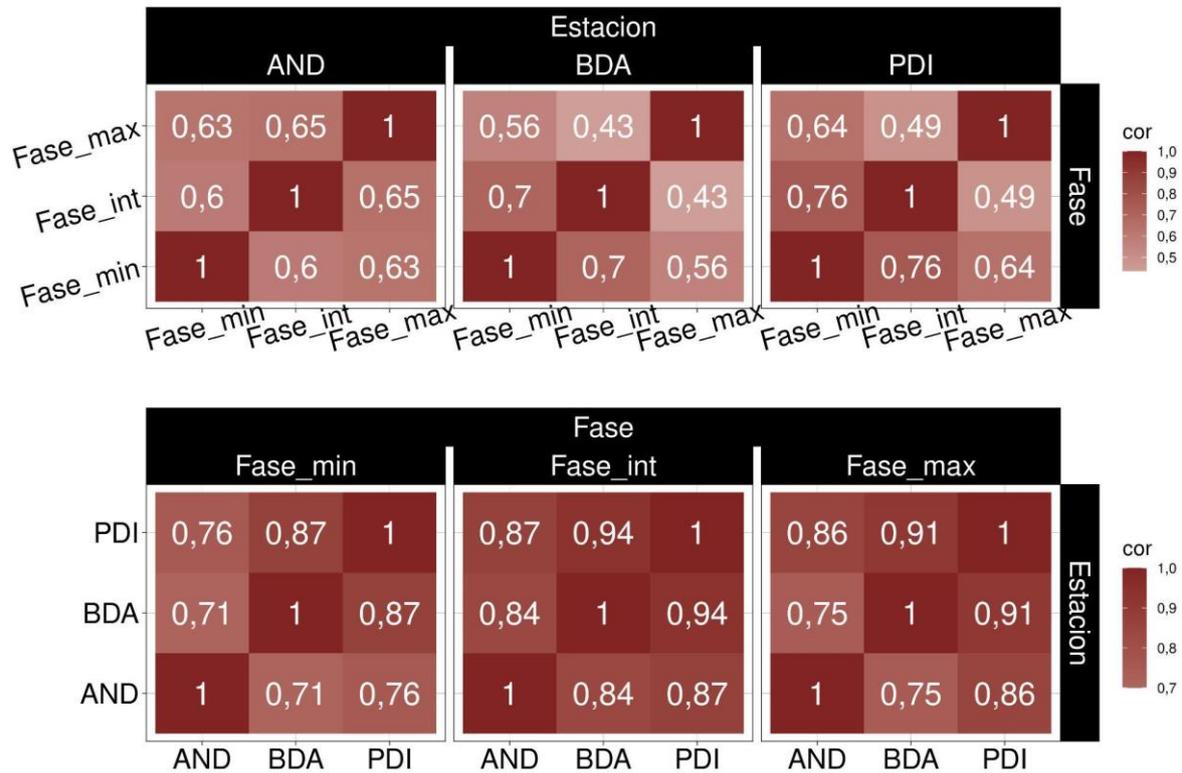
969

970

971

972

973



974

975 **Figura 7.** Matriz de correlación entre las series temporales de Fase_min, Fase_int y
 976 Fase_max, para cada estación de aforo (Panel superior). Matriz de correlación entre las series
 977 temporales de AND, BDA y PDI, para cada fase del ciclo anual (Panel inferior). Valores de
 978 correlación en color blanco, significativos al 90 % de confianza. En todos los casos se
 979 consideraron las series en el periodo previo al quiebre.

980

981

982

983

984

985

986

987

988

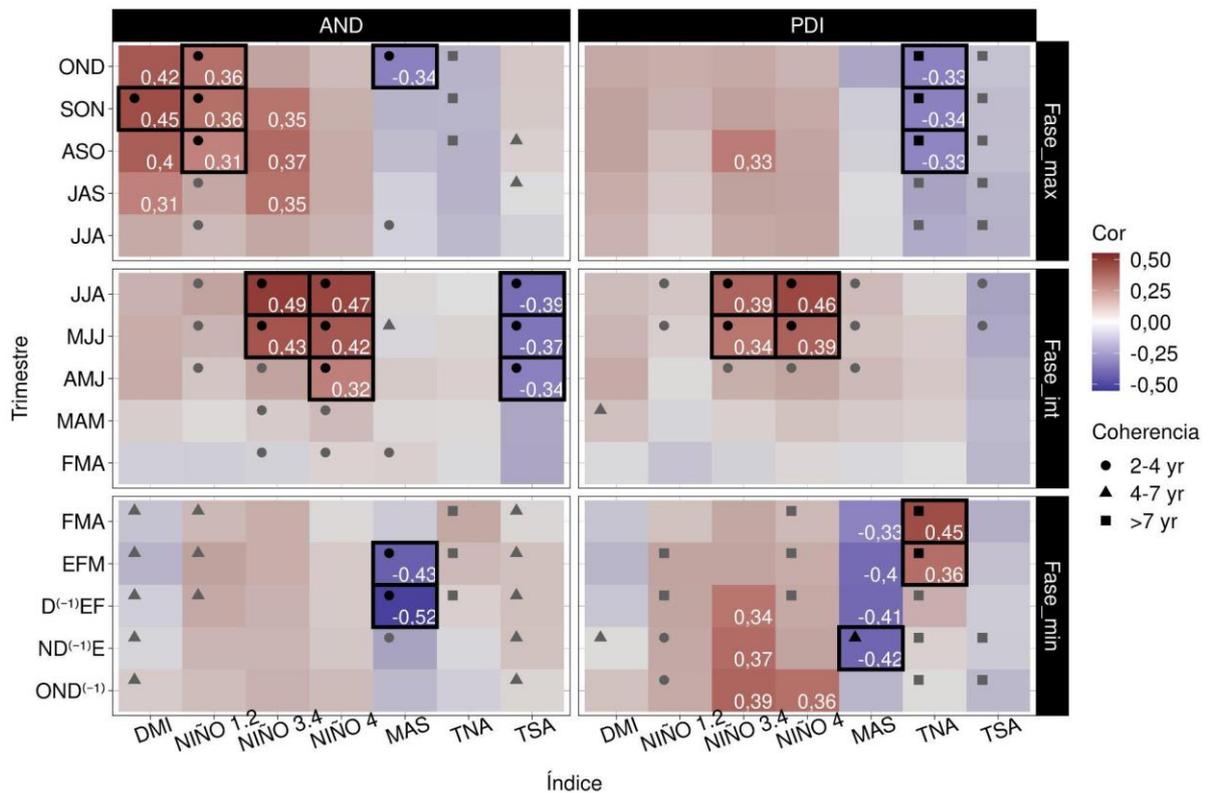
989

990

991

992

993



994

995 **Figura 8.** Correlación (en colores) entre las series de caudal acumulado en cada fase del ciclo
 996 anual de la estación AND (Panel izquierdo) y PDI (panel derecho) y los índices climáticos
 997 promediados trimestralmente. Valores escritos en blanco indican correlaciones
 998 significativamente distintas de cero con un intervalo de confianza del 90%. Las figuras
 999 geométricas indican los trimestres en que la CGW entre la serie de caudal y el índice climático
 1000 resultó significativamente distinta de la distribución nula con una confianza del 95% para
 1001 periodicidades de 2 a 4 años (círculos), de 4 a 7 años (triángulos) y mayores a 7 años
 1002 (cuadrados). Los trimestres en los que tanto la correlación como la coherencia mostraron
 1003 relaciones significativas entre los índices climáticos y el caudal aparecen recuadrados en
 1004 negro.

1005

1006

1007

1008

1009

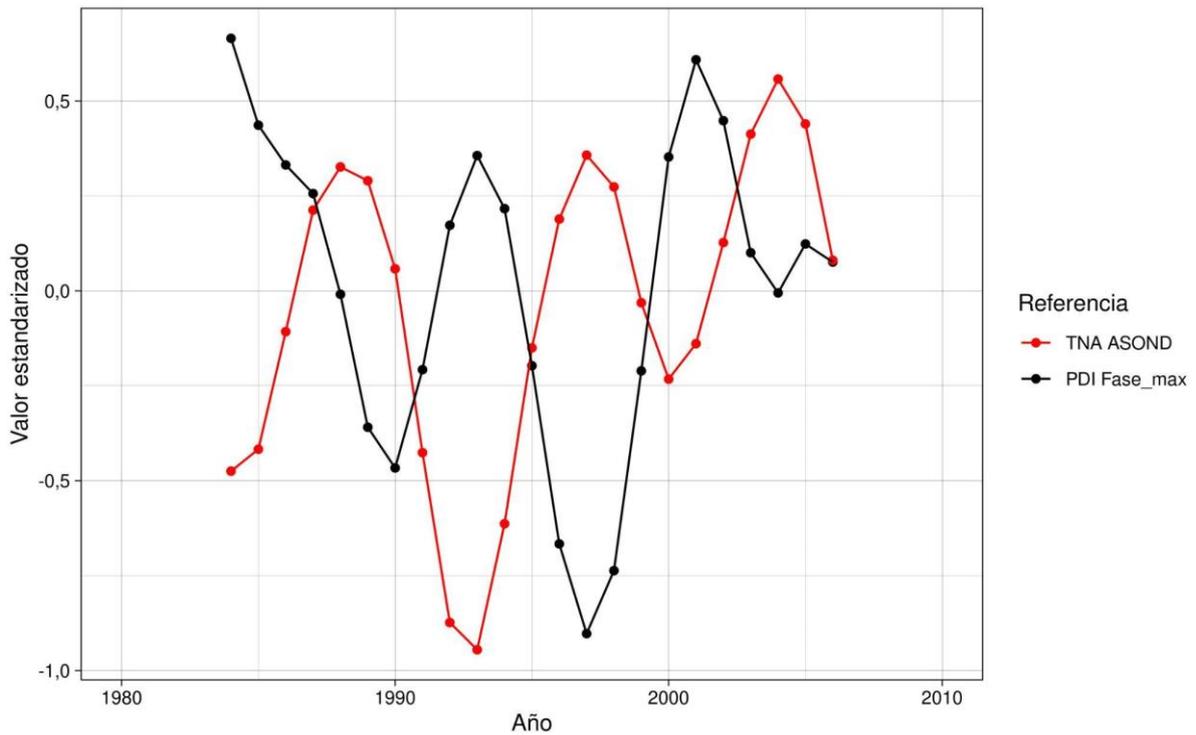
1010

1011

1012

1013

1014



1015

1016 **Figura 9.** Series estandarizadas del caudal acumulado en Fase_max de la estación PDI (color
 1017 negro) y del índice TNA del periodo ASOND con su tendencia lineal filtrada (color rojo).
 1018 Ambas series fueron filtradas con un filtro gaussiano de 8 términos.

1019

1020

1021

1022

1023

1024

1025

1026

1027

1028

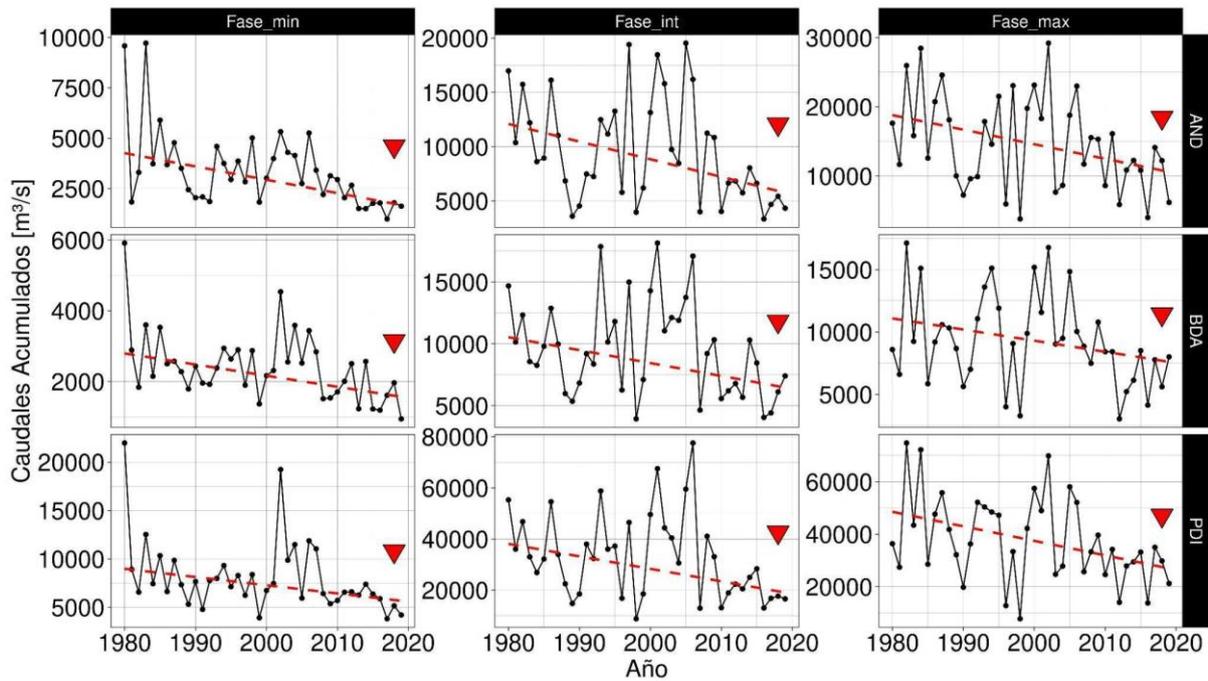
1029

1030

1031

1032

1033



1034

1035 **Figura 10.** Series de caudal acumulado en las distintas fases del ciclo anual (línea negra) y
 1036 rectas de regresión de Theil-Sen (líneas discontinuas rojas) omitiendo la presencia del quiebre
 1037 en la serie. Los triángulos rojos indican tendencias significativamente distintas de cero al 95%
 1038 de confianza.

1039

1040

1041

1042

1043

1044

1045

1046

1047

1048

1049

1050

1051

1052

1053

1054

1055

1056

Estación	Acrónimo	Lat	Lon	% Faltantes
Andacollo	AND	-37,18	-70,68	5,74%
Bajada del Agrio	BDA	-38,36	-70,03	0,33%
Paso de Indios	PDI	-38,53	-69,41	0,00%

1057 **Tabla I.** Nombre y ubicación de las estaciones de aforo diario utilizadas, sus acrónimos y el
1058 porcentaje de datos faltantes en el período de estudio.

1059

1060

1061

1062

1063

1064

1065

1066

1067

1068

1069

1070

1071

1072

1073

1074

1075

1076

1077

1078

1079

1080

1081

1082

1083

1084
1085
1086
1087
1088
1089
1090

Modelo	Descripción
ARIMA	Modelo autorregresivo integrado de medias móviles
MLR_Ord	Regresión lineal múltiple utilizando como predictores los registros de las otras dos estaciones de la cuenca
MLR_Ds	Regresión lineal múltiple utilizando como predictores los registros desfasados en el tiempo de las otras dos estaciones de la cuenca
MLR_Ar	Regresión lineal múltiple utilizando como predictores los registros desfasados de la propia estación a rellenar y de las otras dos estaciones de la cuenca
Valor_Medio	Promedio entre el registro del día previo y posterior al valor a rellenar
GloFAS_Raw	Salida del reanálisis GloFAS en el punto de grilla más cercano a la estación a rellenar
GloFAS_Reg	Regresión lineal simple usando GloFAS_Raw como predictor

1091 **Tabla II.** Modelos de rellenado de datos evaluados y su descripción. Filas sombreadas
1092 corresponden a métodos capaces de rellenar periodos continuos de datos faltantes.

1093
1094
1095
1096
1097
1098
1099
1100
1101
1102
1103

1104
1105
1106
1107
1108
1109
1110
1111
1112

	mínimo		máximo relativo		máximo absoluto	
	Fecha inicio	Duración media [días]	Fecha inicio	Duración promedio [días]	Fecha inicio	Duración promedio [días]
AND	06/01	145	31/05	109	17/09	111
BDA	23/12	149	21/05	108	06/09	108
PDI	05/01	144	29/05	107	13/09	114

1113 *Tabla III. Fecha de inicio y duración promedio de cada fase del ciclo anual obtenidos a partir*
1114 *de la metodología propuesta.*

1115
1116
1117
1118
1119
1120
1121
1122
1123
1124
1125
1126
1127
1128
1129

1130
1131
1132
1133
1134
1135

<i>Caudal</i>			<i>Parámetro</i>			
<i>Estación</i>	<i>Fase</i>	<i>Periodo</i>	<i>Magnitud [m³/s]</i>	<i>valor p [M-K]</i>	<i>Cor</i>	<i>valor p [Cor]</i>
<i>AND</i>	<i>Fase_min</i>	<i>AQ</i>	0,52	1,00	0,00	0,96
		<i>DQ</i>	-139,76	0,03	0,68	0,01
	<i>Fase_int</i>	<i>AQ</i>	15,99	0,85	0,05	0,79
		<i>DQ</i>	-173,87	0,37	0,33	0,34
	<i>Fase_max</i>	<i>AQ</i>	-91,66	0,67	0,08	0,67
		<i>DQ</i>	-22,38	0,86	0,08	0,84
<i>BDA</i>	<i>Fase_min</i>	<i>AQ</i>	4,04	0,80	0,06	0,76
		<i>DQ</i>	-37,58	0,54	0,28	0,38
	<i>Fase_int</i>	<i>AQ</i>	134,65	0,21	0,27	0,17
		<i>DQ</i>	-44,08	0,76	0,17	0,57
	<i>Fase_max</i>	<i>AQ</i>	28,10	0,64	0,11	0,55
		<i>DQ</i>	11,25	1,00	-0,10	0,78
<i>PDI</i>	<i>Fase_min</i>	<i>AQ</i>	30,86	0,80	0,05	0,80
		<i>DQ</i>	-131,17	0,19	0,48	0,11
		<i>AQ</i>	402,73	0,36	0,20	0,30

	<i>Fase_int</i>	<i>DQ</i>	-614,08	0,50	0,21	0,48
	<i>Fase_max</i>	<i>AQ</i>	73,40	0,93	0,02	0,90
		<i>DQ</i>	-353,53	0,67	0,19	0,54

1136 **Tabla IV.** Magnitud de la pendiente de la regresión lineal, valor *p* del test de Mann-Kendall
1137 (valor *p* [M-k]), coeficiente de correlación de Spearman con la recta de regresión (*Cor*) y
1138 valor *p* del test de correlación de Spearman (valor *p* [*Cor*]) del caudal en las distintas
1139 estaciones de aforo y fases del ciclo anual antes y después del quiebre identificado (*AQ* y *DQ*,
1140 respectivamente). Los valores sombreados en gris corresponden a tendencias
1141 significativamente distintas de cero con una confianza del 90%.